SNI 8459:2017

Standar Nasional Indonesia

Metode uji fondasi dalam dengan *High-Strain Dynamic Pile* (HSDP)

Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations

(ASTM D 4945, IDT)

ICS 93.020 Badan Standardisasi Nasional

Daftar isi

Prakata

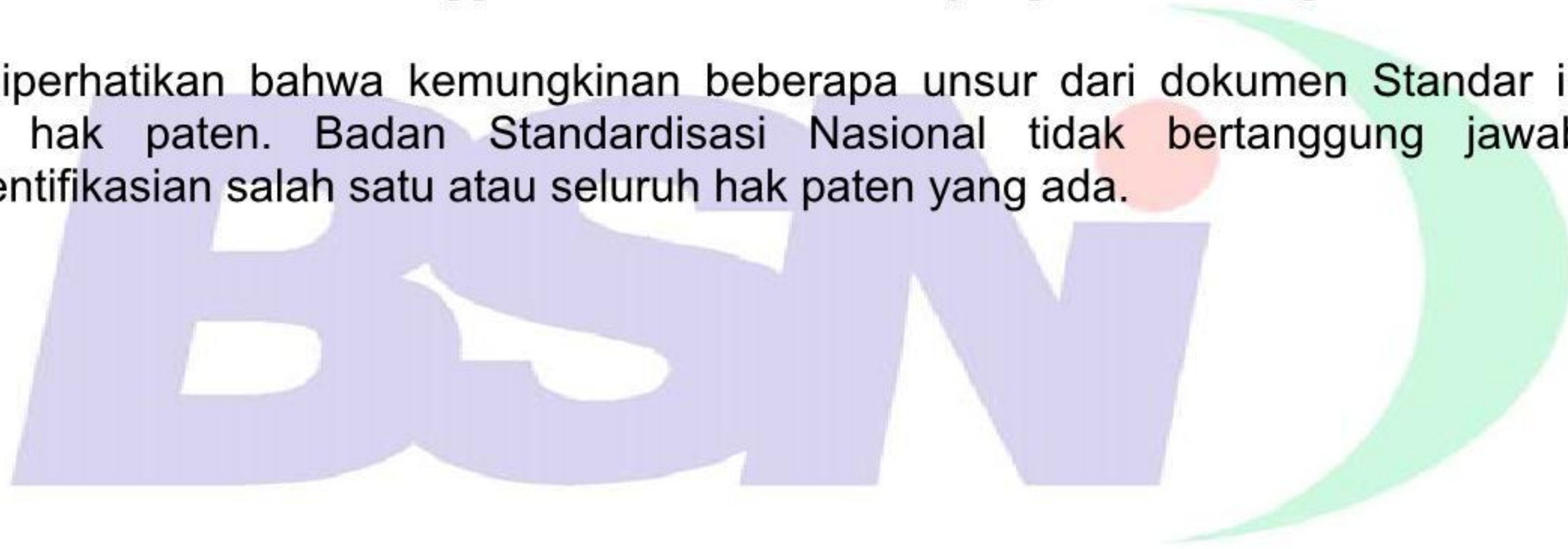
Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang *Metode uji fondasi dalam dengan High-Strain Dynamic Pile (HSDP)* adalah adopsi identik dari ASTM D 4945, *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*.

Standar ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada SubkomiteTeknis 91-01-S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Geoteknik Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) dan dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 1 April 2016 di Bandung oleh Subkomite Teknis, yang melibatkan para narasumber, pakar, dan lembaga terkait.

Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 20 September 2017 sampai dengan 20 Oktober 2017, , dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan dokumen dimaksud, disarankan bagi pengguna standar untuk menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen Standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

Pendahuluan

SNI ini menguraikan metode pengujian *High-Strain Dynamic Pile* (HSDP) untuk fondasi dalam, sehingga diperoleh hasil pengujian yang teliti dan akurat.

SNI ini meliputi prosedur penerapan gaya tumbukan aksial dengan palu tiang pancang atau tumbukan dengan beban berat yang akan menyebabkan regangan relatif tinggi pada bagian kepala suatu fondasi dalam, baik vertikal ataupun miring, dan prosedur pengukuran respons gaya dan kecepatan dari unit fondasi dalam tersebut.

SNI ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam melaksanakan pengujian *High-Strain Dynamic Pile* (HSDP) untuk fondasi dalam dengan tujuan untuk memperoleh resistensi penetrasi dan kedalaman fondasi yang tertanam serta presentasi grafis dari kecepatan dan pengukuran gaya dalam domain waktu. Parameter tersebut diperlukan untuk penilaian fondasi dalam yang telah terpasang.

Metode uji fondasi dalam dengan *High-Strain Dynamic Pile* (HSDP)

1 Ruang lingkup

1.1 Metode uji dinamik ini meliputi prosedur penerapan gaya tumbukan aksial dengan palu tiang pancang atau tumbukan dengan beban berat yang akan menyebabkan regangan relatif tinggi pada bagian kepala suatu fondasi dalam, baik vertikal maupun miring, dan prosedur pengukuran respons gaya dan kecepatan dari unit fondasi dalam tersebut. HSDP berlaku untuk setiap fondasi dalam, yang berfungsi serupa dengan tiang pancang atau tiang bor terlepas dari metode instalasinya, dan harus sesuai dengan persyaratan metode uji ini.

1.2 Standar ini memberikan persyaratan minimum untuk pengujian dinamik fondasi dalam. Perencanaan, spesifikasi, dan ketentuan (atau kombinasinya) harus disiapkan oleh *engineer* yang memiliki kualifikasi yang dapat menambahkan persyaratan dan prosedur yang diperlukan untuk memenuhi tujuan pengujian tersebut. *Engineer* yang bertanggung jawab atas perencanaan pengujian fondasi harus menyetujui setiap penyimpangan, penghapusan, atau penambahan persyaratan pada standar ini.

1.3 Pelaksanaan dan evaluasi pengujian HSDP membutuhkan pengetahuan dan pengalaman khusus. *Engineer* yang berkualifikasi harus secara langsung mengawasi pengambilan data lapangan dan interpretasi hasil uji dan juga memprediksi kinerja aktual dan kelayakan fondasi dalam yang digunakan. Seorang *engineer* yang berkualifikasi harus memeriksa dan menyetujui seluruh peralatan yang digunakan untuk memberikan gaya tumbukan aksial yang dibutuhkan, perlengkapan pemancangan, peralatan angkat, *frame* pendukung, *template*, dan prosedur uji.

1.4 Standar ini memuat berbagai catatan yang mereferensikan penjelasan. Catatan-catatan ini (tidak termasuk tabel dan gambar) tidak dianggap sebagai persyaratan standar. Kata "harus" menunjukkan ketentuan wajib, dan kata "dapat" menunjukkan ketentuan yang direkomendasikan atau dianjurkan. Setiap kalimat yang sangat penting menunjukkan ketentuan wajib.

1.5 Nilai-nilai dalam standar ini dinyatakan dalam satuan SI.

1.6 Semua nilai yang diamati dan dihitung harus sesuai dengan pedoman signifikansi digit dan pembulatannya yang terdapat pada ASTM D 6026.

1.7 Metode yang digunakan untuk mengumpulkan, menghitung, atau merekam data dalam standar ini tidak berhubungan langsung dengan akurasi data yang dapat diterapkan dalam perancangan atau kegunaan lainnya. Bagaimana mengaplikasikan hasil yang diperoleh dari penggunaan standar ini tidak termasuk dalam ruang lingkup yang tertera dalam standar ini.

1.8 Standar ini tidak bertujuan untuk mengatasi semua masalah keselamatan kerja yang mungkin terjadi, yang terkait dengan penggunaannya. Masalah keselamatan kerja adalah tanggung jawab pengguna standar ini, terutama dalam menerapkan praktik kesehatan dan keselamatan kerja serta dalam menentukan batasan peraturan dalam penerapannya sebelum digunakan. Untuk pernyataan khusus pencegahan, lihat Catatan 4.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan standar ini.

ASTM C 469, *Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*

ASTM D 198, *Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*

ASTM D 3689, *Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load*

ASTM D 3740, *Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction*

ASTM D 6026, *Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data*

SNI 03-6475-2000, Metode Uji Pondasi Tiang dengan Beban Statis Tekan Aksial

3 Istilah dan definisi Untuk tujuan penggunaan standar ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

3.1
bantalan fondasi dalam
bahan yang disisipkan antara topi di atas fondasi dalam dan fondasi dalam tersebut (umumnya berupa multipleks)

3.2
bantalan penumbuk
bahan yang disisipkan di antara pelat dasar / landasan palu penumbuk dan topi di atas fondasi dalam, fungsinya untuk meminimalisir kerusakan akibat penumbukan

3.3
***follower* (bantalan topi tiang panjang)**
bagian struktural yang ditempatkan di antara perangkat penumbuk dan fondasi dalam pada saat instalasi atau pengujian, digunakan bila puncak tiang berada di bawah jangkauan palu penumbuk

3.4
fondasi dalam
elemen struktur yang relatif ramping dan menyalurkan sebagian atau semua beban yang didukungnya ke tanah atau batu di bawah permukaan tanah, seperti tiang pancang, tiang bor dengan cor-di-tempat, atau elemen struktur alternatif yang memiliki fungsi yang sama

3.5
gaya penumbuk
dalam kasus transduser regangan, gaya tumbukan diperoleh dengan mengalikan regangan terukur (ε) dengan luas penampang (A) dan modulus elastisitas dinamik (E)

3.6
impedansi fondasi dalam
sebuah ukuran dari tahanan terhadap pergerakan fondasi dalam ketika mengalami tumbukan. Impedansi fondasi dalam dapat dihitung dengan mengalikan luas penampang dengan modulus elastisitas dinamik dan membaginya dengan kecepatan gelombang. Atau, impedansi dapat dihitung dengan mengalikan massa jenis dengan kecepatan gelombang dan luas penampang

$$Z = \left(\frac{E_d \ A}{c} \right) = \rho \ c \ A \quad (1)$$

Keterangan:
Z adalah impedansi, (ton.detik/m)
E_d adalah modulus elastisitas dinamik, (ton/m^2)
A adalah luas penampang, (m^2)
c adalah kecepatan gelombang (m/detik), dan
ρ adalah massa jenis (ton/m^3).

3.7
kecepatan gelombang
kecepatan penyebaran gelombang regangan yang terjadi pada fondasi dalam. Kecepatan penyebaran gelombang regangan ini merupakan sifat yang dipengaruhi oleh komposisi fondasi dalam sedangkan besarnya kecepatan penyebaran gelombang regangan untuk satu dimensi adalah sama dengan akar kuadrat dari pembagian modulus elastisitas dengan massa jenis: $c = \sqrt{\frac{E_d}{\rho}}$

3.8
kecepatan partikel
kecepatan sesaat dari partikel pada fondasi dalam pada saat gelombang regangan terjadi

3.9
***mandrel* (bantalan topi)**
bagian struktur yang kaku dan ditempatkan di dalam tabung baja tipis untuk memungkinkan pemberian tumbukan pada bagian tabung baja tipis

3.10
momentum penumbukan
waktu awal setelah dimulainya penumbukan ketika percepatan nol (Gambar 1)

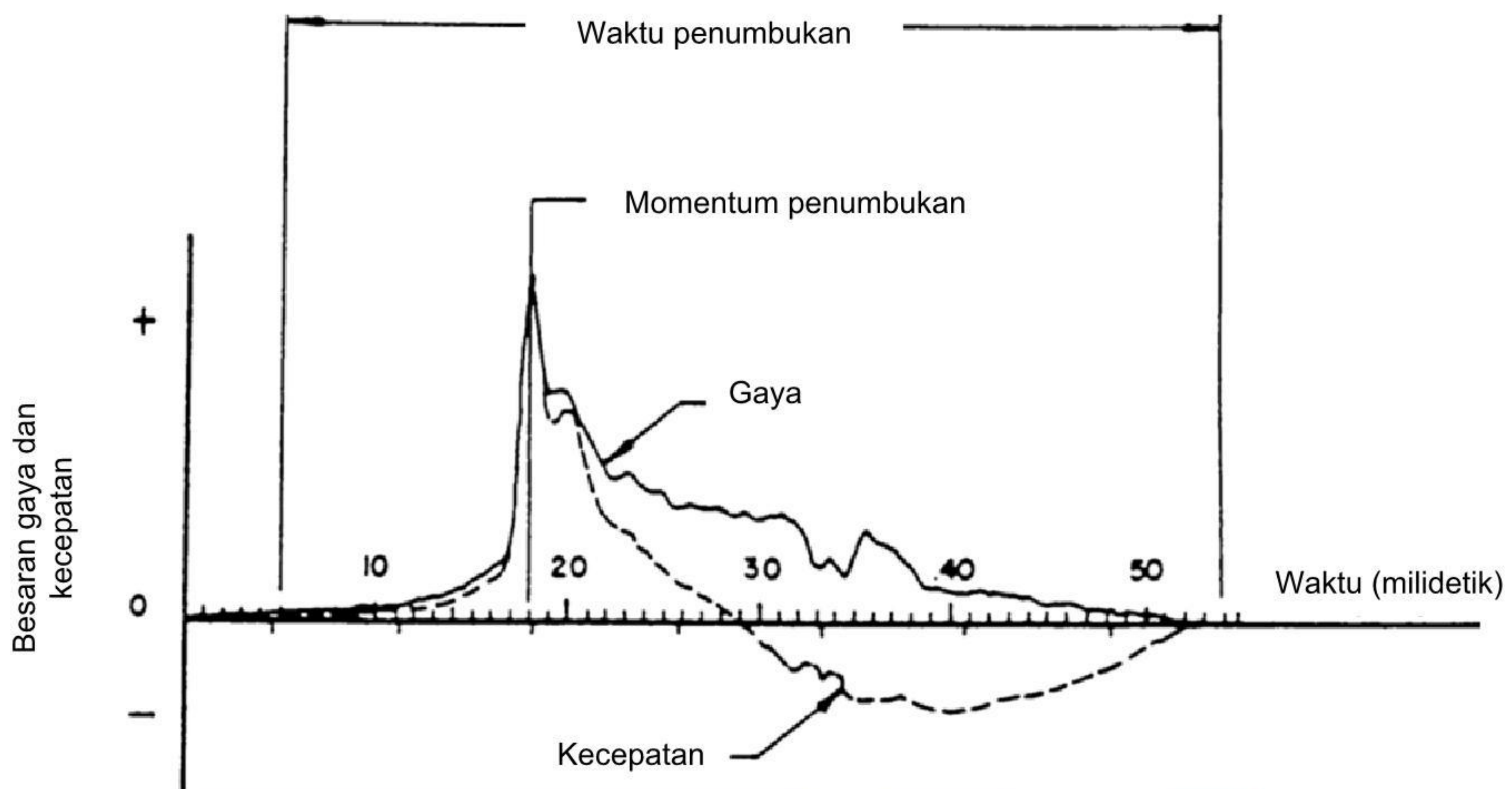
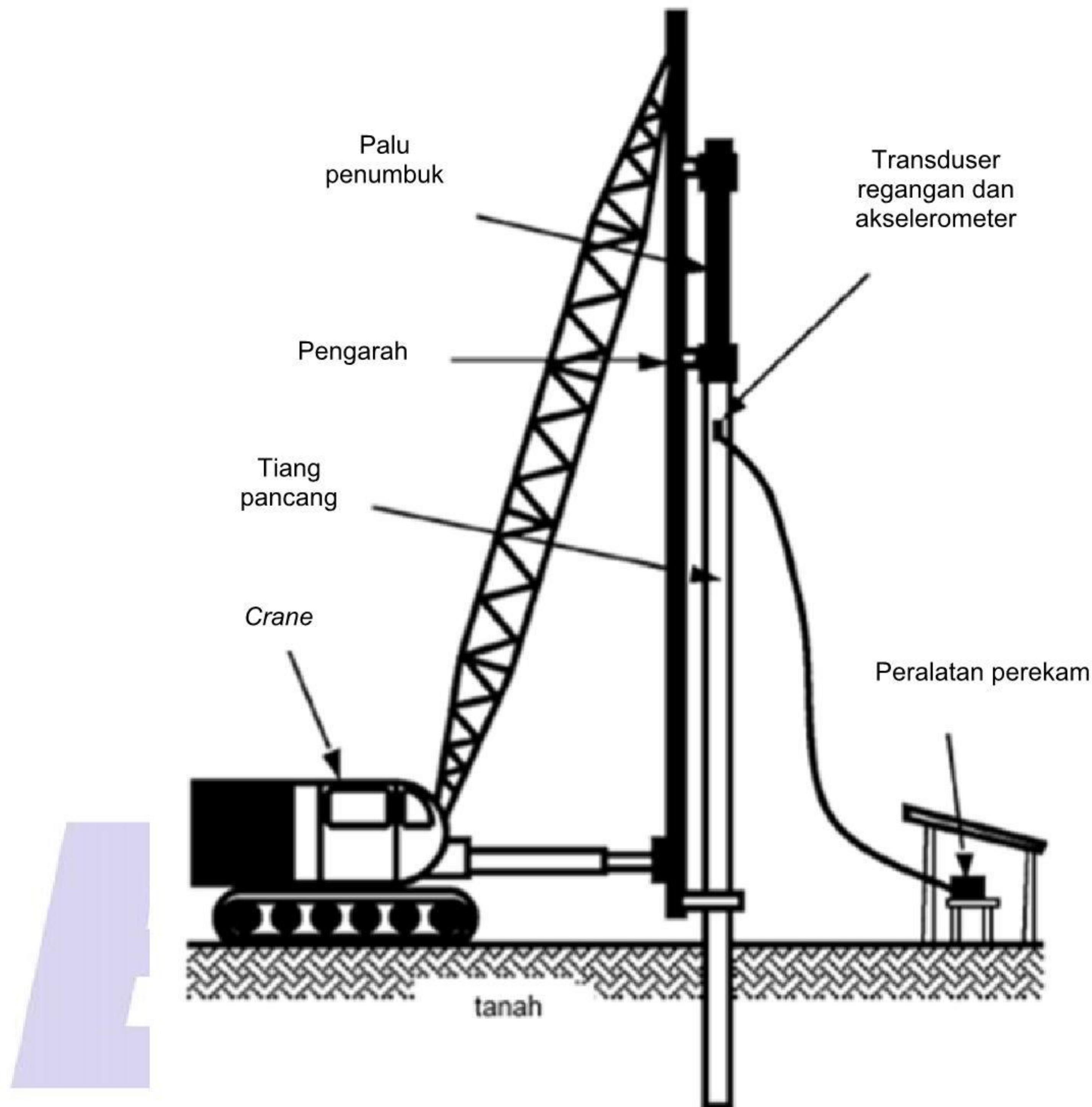
3.11
***restrike* (penumbukan ulang)**
penumbukan ulang fondasi tiang, umumnya dilakukan setelah 15 menit hingga 30 hari atau lebih dari waktu pemancangan sebelumnya, untuk menilai perubahan kapasitas statik aksial tekan ultimit yang terjadi sejak pemancangan awal hingga waktu tunggu

3.12
tiang cor-di-tempat
jenis fondasi dalam yang terbuat dari beton yang dibangun di lokasi, misalnya, *drilled shaft*, tiang bor, sumuran (*caissons*), tiang bor auger, *pressure-injected footings*

3.13
tiang pancang
jenis fondasi dalam yang terbuat dari bahan, bentuk dan ukuran yang telah ditetapkan dan umumnya dipasang dengan cara ditumbuk dengan palu, digetarkan, atau ditekan

3.14
waktu penumbukan
periode waktu ketika fondasi dalam bergerak akibat gaya tumbukan diberikan (Gambar 1)

4 Arti dan kegunaan

4.1 Berdasarkan hasil pengukuran regangan atau gaya, dan percepatan, kecepatan, atau perpindahan transduser, metode uji ini memperoleh gaya dan kecepatan pada tiang ketika terjadinya tumbukan aksial (Gambar 1 dan Gambar 2). *Engineer* dapat menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan prinsip-prinsip rekayasa dan penilaian untuk mengevaluasi integritas tiang, kinerja sistem penumbukan, serta tegangan tekan dan tarik maksimum yang terjadi pada tiang.

Gambar 1 – Tipikal kurva alur gaya dan kecepatan hasil pengukuran dinamik

Gambar 2 – Pengaturan umum pengujian HSDP untuk fondasi dalam

4.2 Jika gerakan aksial yang cukup terjadi selama penumbukan, dan setelah dilakukan penilaian respons dinamik tanah yang dihasilkan di sepanjang sisi dan ujung bawah tiang pancang, *engineer* dapat menganalisis hasil pengujian HSDP untuk memperkirakan kapasitas tekan statik aksial ultimit (Catatan 1). Faktor-faktor yang dapat memengaruhi besarnya kapasitas statik aksial dihitung dari uji dinamik, antara lain: (1) prosedur dan peralatan instalasi tiang pancang, (2) waktu yang dibutuhkan dari instalasi awal, (3) dimensi dan sifat dari material tiang pancang, (4) jenis, densitas, kekuatan, stratifikasi, dan kejenuhan tanah, batuan, atau keduanya yang berada di sekeliling tiang pancang, (5) kualitas atau jenis data uji dinamik, (6) penurunan fondasi, (7) metode analisis, dan (8) justifikasi teknik dan pengalaman. Jika *engineer* belum memiliki cukup pengalaman terhadap faktor-faktor tersebut, dan terhadap analisis data uji dinamik, maka uji beban statik harus dilakukan sesuai dengan metode pengujian SNI 03-6475-2000 untuk memverifikasi perkiraan kapasitas statik aksial dan distribusinya sepanjang tiang. SNI 03-6475-2000 memuat cara pengukuran langsung kapasitas statik aksial secara langsung dengan hasil yang lebih akurat.

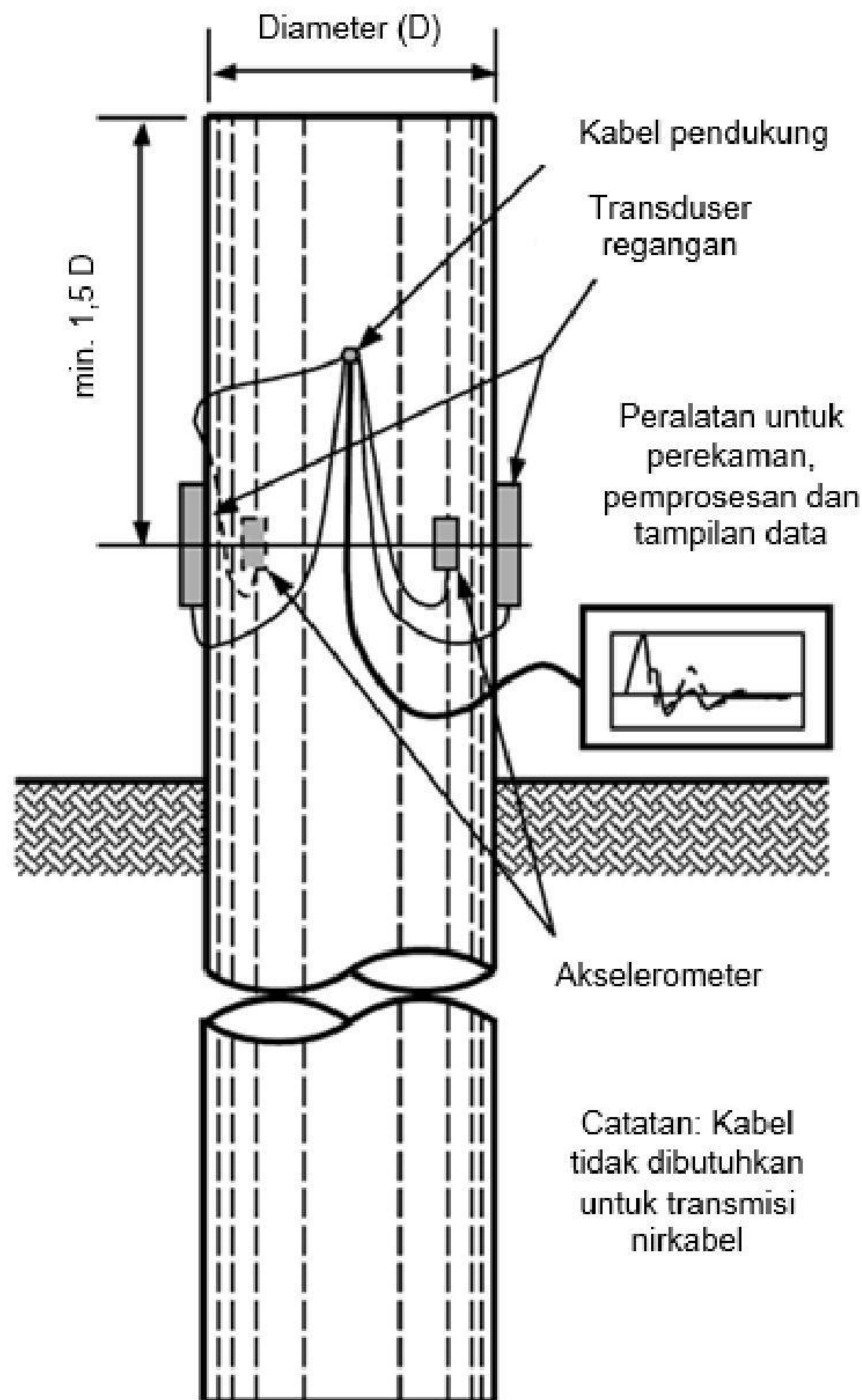
CATATAN 1 - Analisis uji dinamik akan memprediksi nilai kapasitas statik aksial tekan ultimit lebih kecil jika gerakan tiang selama penumbukan sangat kecil. *Engineer* harus menentukan ukuran dan bentuk tiang, dan sifat-sifat tanah atau batuan di bawah dan di sekeliling tiang, pengaruh besarnya gerakan yang diperlukan untuk mengerahkan kapasitas statik sepenuhnya. Suatu penetrasi permanen minimal 2 mm per tumbukan mengindikasikan bahwa gerakan tiang yang terjadi selama proses

penumbukan cukup memadai sehingga kapasitas tiang akan termobilisasi sepenuhnya. Namun, tiang pancang dengan perpindahan yang besar akan memerlukan gerakan yang lebih besar untuk menghindari kesalahan prediksi nilai kapasitas statik, sedangkan tiang yang dicor di tempat seringkali membutuhkan penetrasi kumulatif yang lebih besar dalam serangkaian uji tumbukan menerus, agar kapasitas tiang termobilisasi sepenuhnya. Kapasitas statik juga dapat berkurang atau bertambah dari waktu ke waktu setelah instalasi tiang, baik uji statik maupun dinamik masing-masing akan mewakili kapasitas pada saat tes. Korelasi antara besaran kapasitas tekan aksial statik ultimit dan perkiraan uji dinamik pada umumnya meningkat ketika digunakannya tes *restrike* dinamik yang memperhitungkan perubahan kekuatan tanah seiring dengan waktu (butir 6.8).

CATATAN 2 - Meskipun interpretasi analisis uji dinamik dapat memberikan perkiraan kapasitas tarik (*uplift*) tiang, pengguna standar ini harus hati-hati dalam menginterpretasi besarnya tahanan selimut tiang hasil estimasi analisis dinamik secara konservatif dari satu lokasi pengukuran, dan untuk menghindari perkiraan kapasitas tarik untuk tiang dengan kedalaman kurang dari 10 m (transduser tambahan yang tertanam dekat kaki tiang pancang dapat juga membantu meningkatkan akurasi estimasi nilai kapasitas tarik). Jika *engineer* tidak memiliki pengalaman yang memadai dalam analisis data uji dinamik untuk kapasitas tarik untuk lokasi dan jenis tiang pancang tertentu, pengujian beban statik harus dilakukan sesuai dengan metode uji ASTM D 3689 untuk memverifikasi estimasi kapasitas tarik tiang. ASTM D 3689 memuat arahan yang jelas dan lebih akurat dalam menentukan kapasitas tarik statik.

CATATAN 3 - Kualitas hasil metode uji ini tergantung pada kompetensi personel yang melaksanakannya, serta kelayakan peralatan dan kelengkapan sarana yang digunakan. Lembaga yang memenuhi kriteria Standar ASTM D 3740 umumnya dianggap mampu dan kompeten dalam melaksanakan pengujian/pengambilan contoh uji/inspeksi/dll. Pengguna metode uji ini harus memperhatikan dan mematuhi tata cara yang tercantum dalam Standar ASTM D 3740 yang tidak dengan sendirinya menjamin hasil yang dapat diandalkan. Hasil yang dapat diandalkan tergantung pada banyak faktor; ASTM D 3740 memuat tata cara evaluasi faktor-faktor tersebut.

5 Peralatan

5.1 Alat Tumbuk – Pengujian HSDP mengukur respons tiang akibat gaya tumbukan yang terjadi pada kepala tiang dan sejajar konsentris dengan sumbu panjangnya (Gambar 2 dan Gambar 3). Perangkat yang digunakan untuk memberikan gaya tumbukan harus dapat menghasilkan energi yang cukup pada tiang pancang agar penetrasi selama penumbukan berlangsung mampu memobilisasi kapasitas tiang yang diperlukan. Umumnya alat tersebut akan menghasilkan gaya tumbukan maksimum yang setara atau lebih jika dibandingkan dengan kapasitas pancang ultimit (statik ditambah dinamik). Jenis palu penumbuk yang akan digunakan harus disetujui sebelumnya oleh *engineer*, apakah menggunakan palu penumbuk konvensional, *drop hammer*, atau perangkat penumbuk serupa berdasarkan prediksi analisis dinamik oleh *engineer*, pengalamannya, atau keduanya. Gaya tumbuk yang terjadi tidak boleh menghasilkan tegangan dinamik yang dapat merusak tiang pancang, umumnya lebih kecil dari kekuatan runtuh material tiang pancang setelah dikurangi potensi lentur dan tegangan nonseragam (umumnya 90% untuk baja dan 85% untuk beton). *Engineer* mungkin memerlukan bantalan serta variabel kontrol dari energi penumbukan (tinggi jatuh, kekuatan tekanan, pengaturan bahan bakar, tekanan hidrolik, dll.), atau membutuhkan keduanya untuk mencegah tegangan yang berlebihan dalam setiap fase pengujian tiang.

Gambar 3 – Diagram skematik peralatan untuk monitoring dinamik pada fondasi dalam

5.2 Pengukuran Dinamik – Peralatan pengukuran dinamik meliputi transduser yang dipasang pada bagian luar permukaan tiang, atau tertanam dalam tiang pancang beton, yang mampu secara mandiri mengukur regangan dan percepatan terhadap waktu selama penumbukan terjadi, minimal pada satu lokasi tertentu di sepanjang tiang pancang seperti yang dijelaskan dalam butir 5.2.7.

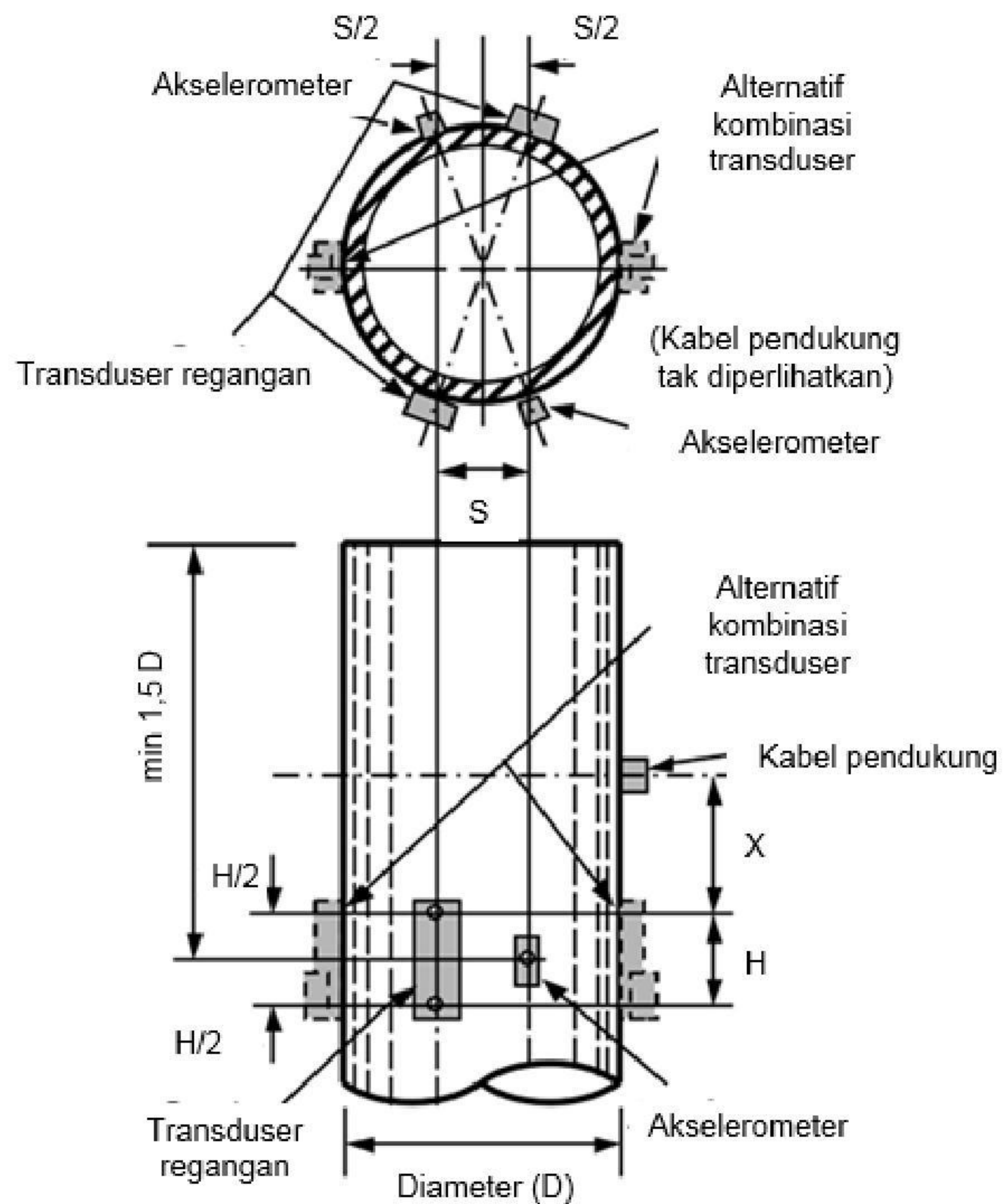
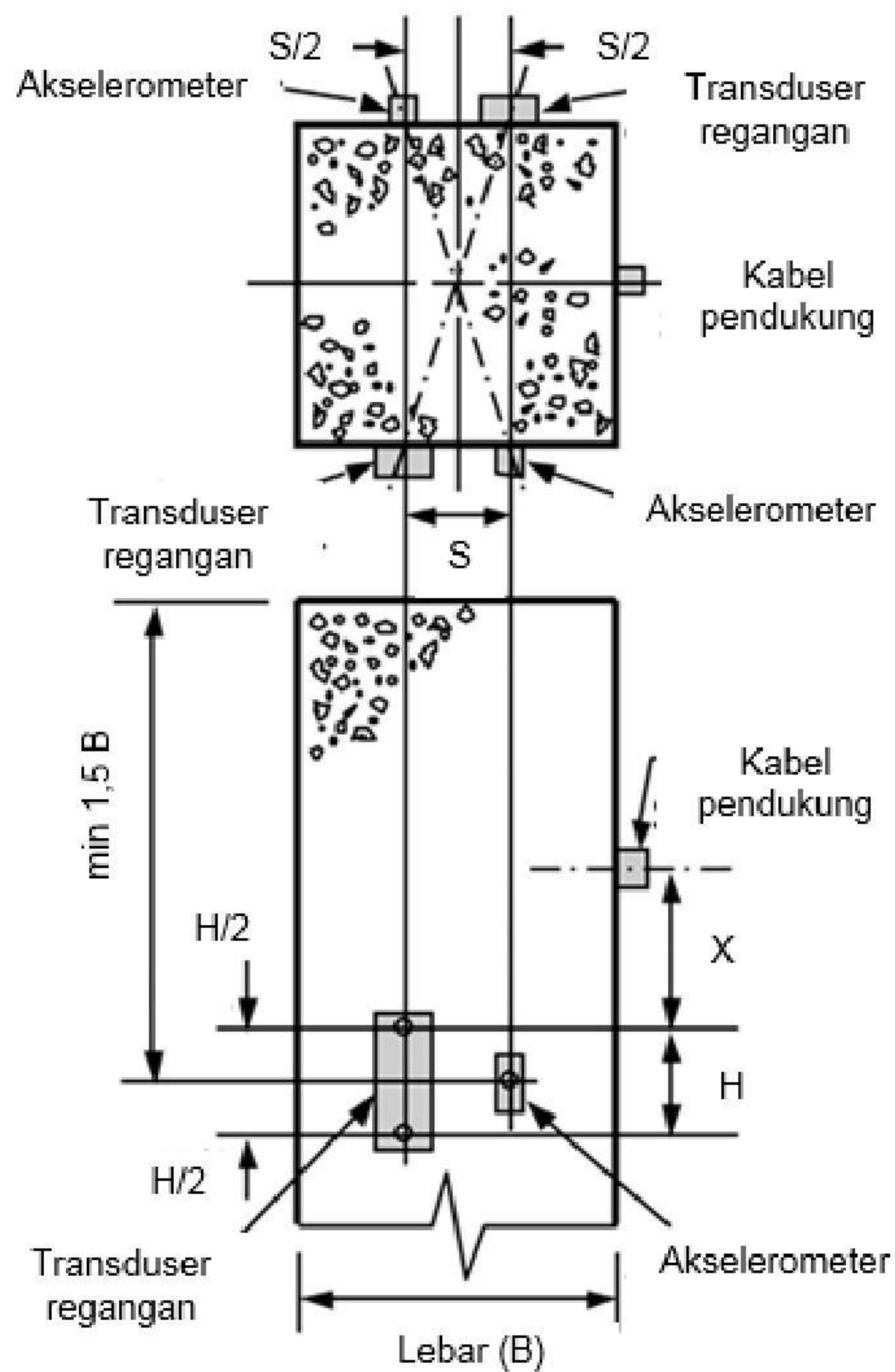
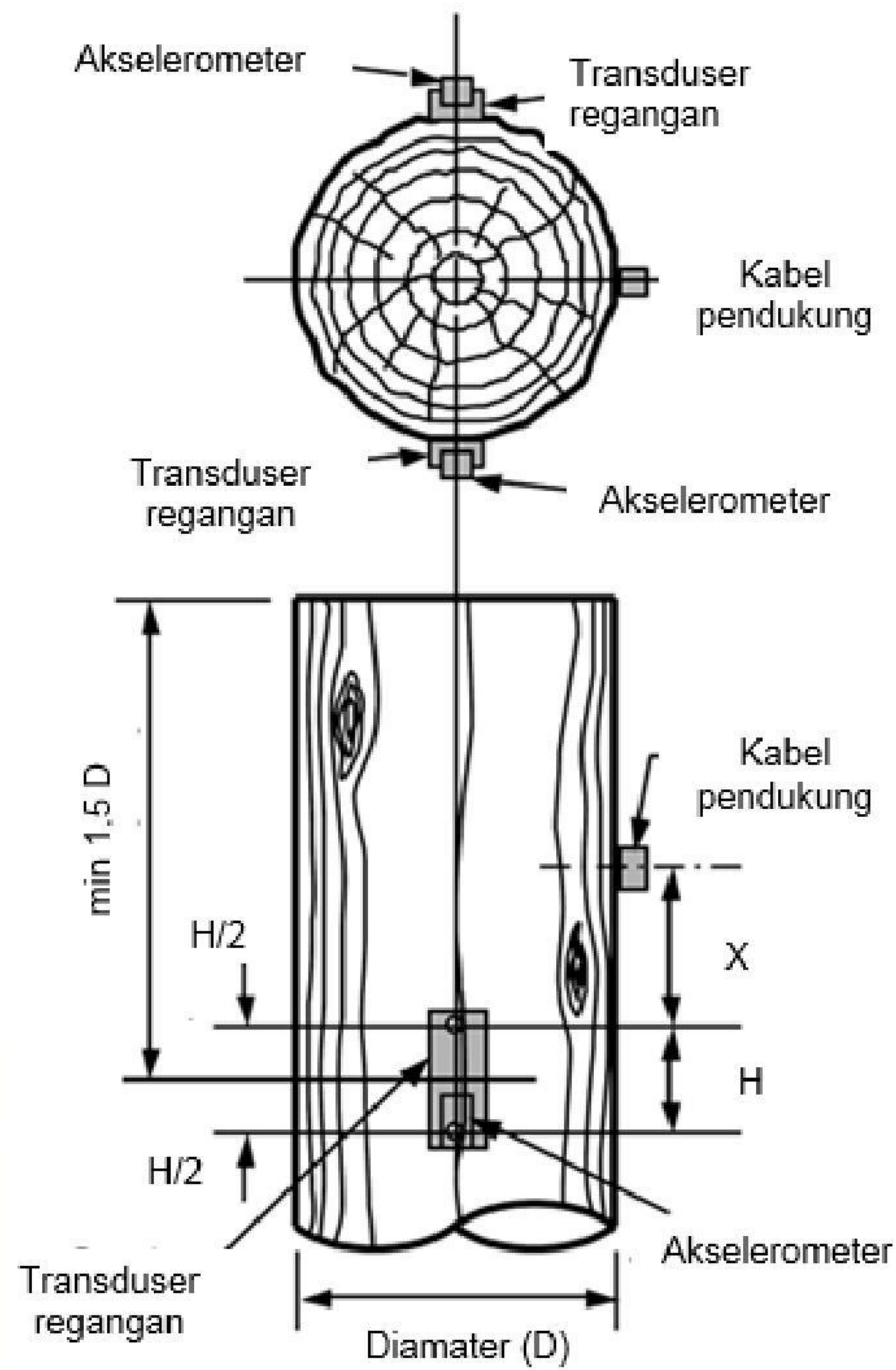
5.2.1 Transduser Eksternal – Untuk transduser yang dipasang eksternal, singkirkan material yang tidak rata atau menghalangi pada permukaan tiang pancang dan pasangkan dengan erat minimal dua dari masing-masing jenis transduser di lokasi pengukuran yang tidak akan menembus tanah menggunakan baut, sekrup, lem, solder, las, atau perangkai lainnya yang serupa.

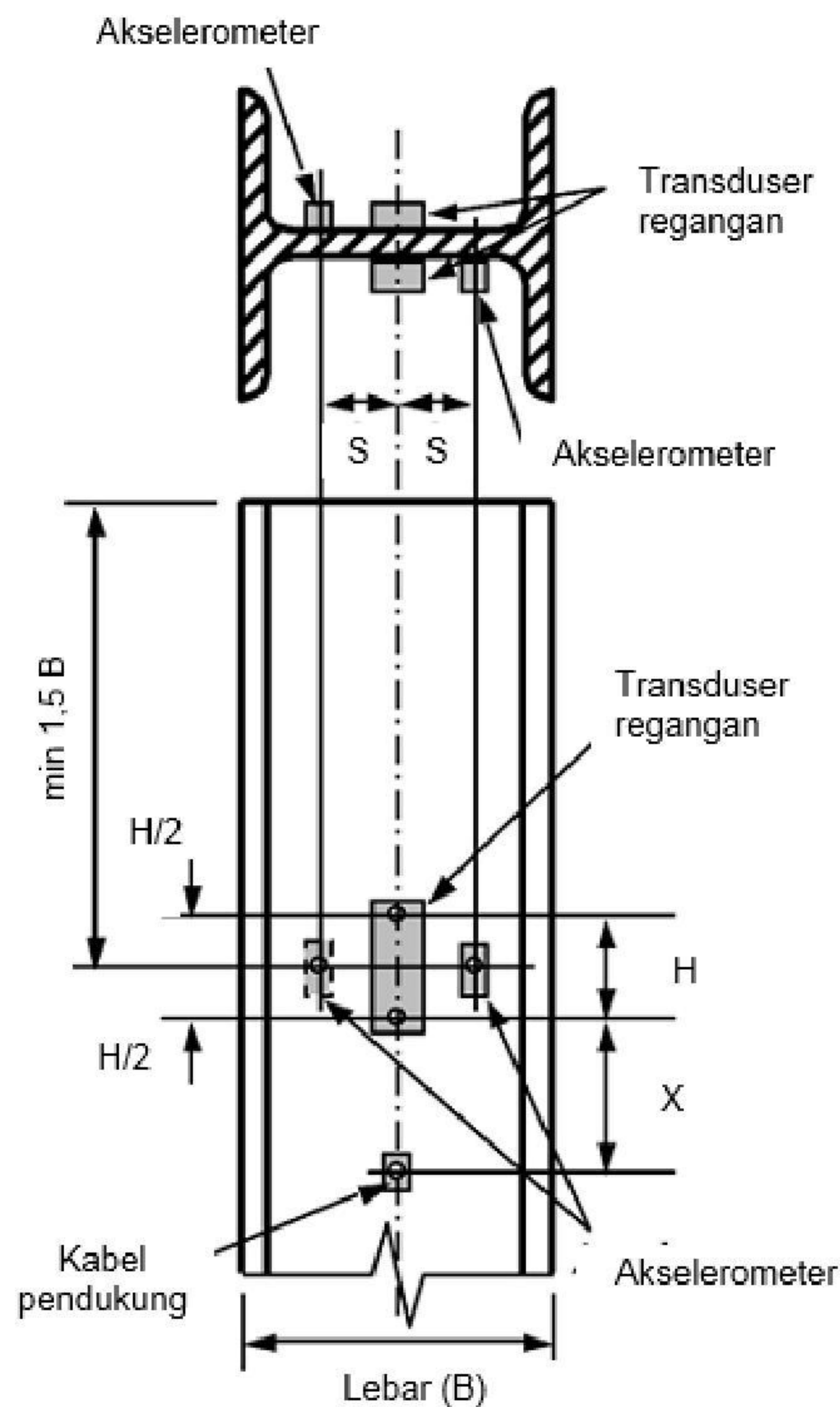
5.2.2 Transduser Tertanam – Posisikan transduser tertanam di setiap lokasi pengukuran sebelum pengecoran tiang beton. Transduser harus diikatkan pada tulangan tiang atau dudukan khusus untuk menjaga posisi dan arah transduser pada tiang. Ketika transduser dipasang di dekat kepala tiang, satu dari setiap jenis transduser tertanam yang terletak di titik pusat dari penampang tiang harus menghasilkan akurasi pengukuran yang memadai, akurasi dapat diverifikasi dengan proporsionalitas (butir 6.9). Transduser tertanam yang

terpasang di sepanjang tiang dan dekat ujung tiang mempermudah penentuan distribusi beban dinamik yang terjadi dalam tiang, tetapi umumnya dibutuhkan pemeriksaan kualitas data selain proporsionalitas, seperti transduser berlebihan (butir 6.9). Transduser tertanam harus dilengkapi dengan angkur yang kuat untuk tiang beton agar hasil pengukuran akurat; angkur dan sensor yang digunakan tidak boleh mengubah impedansi tiang secara signifikan.

5.2.3 Akurasi Transduser – Transduser harus dikalibrasi sebelum instalasi atau dipasang dengan akurasi 3% pada seluruh rentang pengukuran yang dapat diterapkan. Jika rusak atau tidak berfungsi, transduser harus diganti, diperbaiki dan dikalibrasi ulang, atau ditolak. Rancangan pemasangan transduser, baik eksternal maupun tertanam sebagai unit tunggal atau unit gabungan, harus dijaga tetap akurat dan tidak boleh ada interferensi antara transduser satu dengan yang lainnya dalam pengukuran individual. Secara umum, hindari pemasangan atau penanaman transduser percepatan, transduser kecepatan, atau transduser perpindahan sehingga tekanan diterima secara langsung oleh transduser gaya atau transduser regangan. Penempatan semua transduser harus ditempelkan langsung pada material tiang pancang.

5.2.4 Transduser Regangan – Transduser regangan harus memperhitungkan pengaruh suhu, dan harus juga memiliki *output* linier selama jangka waktu pelaksanaannya (umumnya antara -2.000 microstrain hingga 2.000 microstrain ditambah toleransi untuk memungkinkan terjadinya regangan yang disebabkan oleh pemasangan pada permukaan kasar). Titik penempatan harus diberi jarak (dimensi tiang S dan H dapat dilihat pada Gambar 4 s.d. Gambar 7) tidak kurang dari 50 mm dan tidak lebih dari 100 mm. Ketika dipasangkan pada tiang pancang, seharusnya frekuensi alami akan lebih besar dari 2.000 Hz.

5.2.4.1 Sebagai alternatif dari transduser regangan, pengukuran gaya aksial dapat dilakukan dengan transduser gaya yang ditempatkan di antara kepala tiang dan perangkat penumbukan, atau ditempelkan pada penampang tiang, meskipun transduser tersebut dapat mengubah karakteristik dinamik dari sistem gerak tiang pancang, respons dinamiknya, ataupun keduanya. Transduser gaya harus memiliki impedansi antara 50% hingga 200% dari impedansi tiang. Sinyal luaran secara proporsional harus berbanding lurus dengan gaya aksial, bahkan jika beban eksentrik diterapkan. Sambungan antara transduser gaya dan fondasi dalam harus memiliki massa dan penggunaan bantalan seminimal mungkin untuk mencegah kerusakan.

Gambar 4 – Pengaturan tipikal pemasangan transduser pada tiang pipa

Gambar 5 – Pengaturan tipikal pemasangan transduser pada tiang beton

Gunakan baut untuk transduser regangan, akselerometer dan kabel pendukung seperti pada gambar. Biasanya gunakan baut ukuran 6 mm

Gambar 6 – Pengaturan tipikal pemasangan transduser pada tiang kayu

Bor lubang sebagai tempat baut untuk transduser regangan, akselerometer dan kabel pendukung seperti pada gambar. Biasanya digunakan baut ukuran 6 mm

Gambar 7 – Pengaturan tipikal pemasangan transduser pada tiang baja profil H

5.2.5 Transduser Percepatan, Kecepatan, atau Perpindahan – Data kecepatan harus diperoleh dengan menggunakan alat pengukuran dinamik untuk mengintegrasikan sinyal percepatan dari akselerometer. Akselerometer harus langsung menempel pada permukaan tiang, dipasang dengan blok logam kecil dan kaku (padat, hampir berbentuk kubus), atau tertanam pada tiang pancang. Jangan gunakan briket yang menggantung atau blok plastik yang akan mengalami deformasi selama penumbukan. Akselerometer untuk tiang beton harus linier minimal 1.000 g dan 1.000 Hz. Untuk tiang baja, disarankan menggunakan akselerometer setara minimal 2.000 g dan 2.000 Hz. Untuk akselerometer piezoelektrik yang menggunakan sinyal sakelar AC ganda, maka frekuensi resonansinya harus di atas 30.000 Hz bila terpasang secara kaku, atau di atas 10.000 Hz jika bantalannya teredam, dan konstanta waktu harus minimal 1,0 detik untuk mempertahankan besarnya sinyal dengan frekuensi rendah. Jika akselerometer piezoresistif yang digunakan, akselerator tersebut harus memiliki frekuensi resonansi minimal 2.500 Hz dan dengan bantalan teredam. Dapat pula digunakan transduser kecepatan atau perpindahan untuk mendapatkan data kecepatan, asalkan setara dalam kinerja dengan akselerometer tertentu.

5.2.6 Transduser Gabungan – Instrumentasi gaya dan kecepatan dapat menggunakan transduser individual yang terkoneksi secara terpisah pada tiang, atau transduser yang terkoneksi bersama-sama dan menempel pada tiang pancang sebagai transduser gabungan.

5.2.7 Penempatan Transduser – Untuk menghindari konsentrasi tegangan yang tidak teratur pada ujung tiang, letakkan transduser dengan jarak minimal 1,5 kali lebar tiang yang diukur dari bagian atas (atau bagian bawah) tiang seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4 s.d. Gambar 7. (Gambar-gambar tersebut merupakan tipikal, tetapi tidak eksklusif). Sejajarkan transduser searah dengan sumbu panjang tiang. Atur transduser regangan sedemikian rupa sehingga hasil pengukuran rata-ratanya dapat mengeliminasi berbagai tegangan lentur aksial yang terjadi. Atur akselerometer sedemikian rupa sehingga hasil pengukuran rata-ratanya dapat mengeliminasi gerakan-gerakan yang terjadi akibat lentur. Kecuali transduser diletakkan di titik pusat penampang tiang pancang, letakkan transduser sejenis, sehingga secara simetris berlawanan dan berjarak sama dari titik pusat penampang tiang pancang tegak lurus dengan sumbu tiang. Pastikan posisi akhir semua transduser, koneksi yang kuat, dan penjajaran semua transduser, baik transduser eksternal maupun tertanam. Butir 6.9 menjelaskan pentingnya pengecekan proporsionalitas baik transduser eksternal maupun tertanam yang akan membantu memverifikasi akurasi hasil pengukuran.

5.3 Transmisi Sinyal – Sinyal harus dapat dikirim dari transduser ke peralatan untuk perekaman, pengolahan, dan tampilan data melalui kabel atau setara nirkabel (butir 5.4). Suatu peralatan penghubung dapat digunakan untuk pengolahan sinyal awal sebelum transmisi data sinyal ke peralatan untuk perekaman, pengolahan, dan tampilan data jika fungsi pengolahan memenuhi persyaratan pada butir 5.4. Kabel harus terlindung dan terjaga dari gangguan transmisi elektronik lainnya. Jika digunakan transmisi nirkabel, sinyal yang sampai di peralatan harus merepresentasikan kontinuitas dan besarnya pengukuran transduser secara akurat selama rentang frekuensi peralatan pengukuran dinamik.

5.4 Perekaman, Pengolahan, dan Tampilan Data:

5.4.1 Umum – Sinyal dari transduser akan ditransmisikan ke peralatan selama proses penumbukan untuk perekaman, pengolahan, dan tampilan data (butir 5.2). Peralatan harus mencakup tampilan grafis visual antara gaya dan kecepatan terhadap waktu, kartu memori yang tidak mudah rusak (*non-volatile*) untuk menyimpan data untuk analisis selanjutnya, dan perhitungan rata-rata untuk memberikan hasil yang konsisten dengan tujuan *engineer* lapangan, misalnya, tegangan dan perpindahan pada tiang, energi yang ditransfer ke tiang, dan sebagainya. Peralatan untuk perekaman, pengolahan, dan tampilan data harus memperhatikan pengaruh temperatur dan pengecekan melalui kalibrasi ulang terhadap peralatan perekaman, pengolahan, dan tampilan data. Kesalahan hasil pengukuran tidak

boleh melebihi 2% dari sinyal maksimum yang diharapkan. Gambar 3 menunjukkan skema pengaturan tipikal peralatan ini.

5.4.2 Rekaman Data – Data mentah dari transduser harus direkam di lapangan, secara elektronik dalam bentuk digital, dengan resolusi minimal 12 bit ADC dan umumnya memiliki data pengolahan minimal yang isinya digunakan untuk memperoleh gaya dan kecepatan tiang pancang. Data transduser yang direkam setelah pengolahan minimal tersebut harus mencatat informasi yang diperlukan dalam mengembalikan sinyal data mentah untuk pengolahan selanjutnya bila diperlukan. Misalnya, kalibrasi, kecepatan gelombang, massa jenis, luas penampang tiang pancang, dll. Ketika menentukan kecepatan dari integrasi analog percepatan, atau diferensiasi analog perpindahan, gunakan frekuensi uji minimum untuk masing-masing data; yaitu 5.000 Hz untuk tiang beton dan 10.000 Hz untuk tiang kayu atau baja. Ketika menentukan kecepatan dari integrasi digital percepatan, atau diferensiasi digital perpindahan, gunakan frekuensi uji minimum untuk masing-masing data, yaitu 10.000 Hz untuk tiang beton dan 40.000 Hz untuk tiang kayu atau baja. Baik pengolahan data analog maupun digital harus mempertahankan besaran frekuensi yang sesuai dengan tingkat pengambilan data dari sinyal kecepatan yang dihasilkan. Total waktu minimum dari pengambilan data untuk setiap penumbukan harus lebih besar dari 100 milidetik atau 3L/c (L adalah panjang tiang dan c adalah kecepatan gelombang tiang), di mana sebagian besar waktu tersebut terjadi saat penumbukan terjadi, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

5.4.3 Pengolahan Data – Sebagai persyaratan minimum, peralatan untuk pengolahan sinyal dari transduser harus menyediakan fungsi-fungsi berikut:

5.4.3.1 Pengukuran Gaya – Peralatan harus memberikan pengondisian sinyal untuk sistem pengukuran gaya. Jika menggunakan transduser regangan (butir 5.2.4), peralatan harus menghitung gaya aksial neto yang terjadi pada penampang tiang pancang. Luaran gaya harus seimbang dengan titik referensi yang ditentukan (misalnya nol) sebelum proses penumbukan dilaksanakan.

5.4.3.2 Data Kecepatan – Jika akselerometer digunakan (butir 5.2.5), peralatan akan mengintegrasikan percepatan dari waktu ke waktu untuk mendapatkan kecepatan. Jika menggunakan transduser perpindahan, akselerometer akan membedakan perpindahan yang terjadi dari waktu ke waktu untuk mengukur kecepatan. Jika diperlukan, akselerometer me-nol-kan kecepatan di antara tumbukan, kemudian menyesuaikan rekaman kecepatan dengan memperhitungkan perubahan posisi nol-nya transduser sewaktu penumbukan terjadi.

5.4.3.3 Pengondisian Sinyal – Pengondisian sinyal untuk gaya dan kecepatan akan memiliki kurva respons frekuensi yang setara untuk menghindari pergeseran fase relatif dan perbedaan amplitudo relatif serta mempertahankan semua komponen frekuensi dalam data di bawah sekurangnya 2.000 Hz.

5.4.4 Tampilan Data – Untuk setiap penumbukan, sinyal mentah atau sinyal hasil olahan dari transduser yang diuraikan secara terperinci dalam butir 5.2 harus ditampilkan selama pengambilan data berlangsung atau dapat ditampilkan ulang sebagai fungsi dari waktu, seperti pada tampilan grafis digital.

5.4.5 Pengawasan Lapangan – *Engineer* berkualifikasi harus secara langsung mengawasi semua pengujian lapangan dan menilai kualitas dan kelayakan data untuk evaluasi yang lebih terperinci yang akan dilaksanakan selanjutnya (butir 6.9). Teknisi lapangan dapat mengirimkan data aktual yang diperlukan dari lokasi kepada *engineer* berkualifikasi yang bertanggung jawab atas pengujian HSDP tersebut.

6 Prosedur

6.1 Umum – Siapkan waktu yang cukup untuk tiang pancang dan fondasi dalam cor-di-tempat yang terbuat dari beton untuk mendapatkan kekuatan struktural yang memadai sebelum pengujian. Catat informasi proyek (Bagian 7). Pasang transduser (Bagian 5) untuk fondasi dalam, lakukan pemeriksaan kalibrasi yang direkomendasikan oleh produsen peralatan, dan ambil pengukur dinamik untuk penumbukan selama interval yang akan dipantau bersama-sama dengan pengamatan rutin jumlah pukulan per unit penetrasi ("penghitung pukulan") atau set per pukulan. Tentukan respons tiang pancang untuk tes dinamik regangan tinggi dari minimal sepuluh catatan penumbukan selama awal penumbukan dan, bila digunakan untuk perhitungan tahanan tanah, umumnya dari satu atau dua pukulan perwakilan di awal *restrike*.

CATATAN 4 – Peringatan: Jangan pernah mendekati fondasi dalam yang diuji ketika palu penumbuk atau beban yang besar sedang beroperasi karena material dapat terlempar dan membahayakan keselamatan orang di sekitarnya. Sebaiknya kru penyedia jasa yang memasangkan transduser ke tiang pancang.

6.2 Penentuan Kecepatan Gelombang Fondasi Dalam – Kecepatan gelombang tiang pancang beton, kayu atau baja sebaiknya ditentukan dari awal penumbukan jika refleksi tarik dari kaki tiang pancang secara jelas diidentifikasi. Bagi dua kali panjang tiang di bawah transduser pada saat diamati antara awal penumbukan (misalnya, kenaikan awal yang tajam dari sinyal) dan awal refleksi regangan (misalnya, peningkatan kecepatan relatif selanjutnya) untuk mendapatkan kecepatan gelombang. Untuk tiang dengan instrumentasi, baik di kepala maupun dekat kaki, kecepatan gelombang dapat dihitung dengan membagi jarak antara lokasi tersebut dengan waktu antara kedatangan penumbukan. Sebagai alternatif, tempatkan tiang pada penyokong atau permukaan tanah yang bebas dan bersih dari penghalang tiang lainnya. Kemudian pasang akselerometer pada tiang dan pukul tiang dengan palu yang memiliki berat yang sesuai. Berhati-hatilah untuk tidak merusak atau membuat penyok tiang pancang. Catat (butir 5.4.2) dan tampilkan (butir 5.4.4) sinyal akselerometer. Ukur total waktu antara percepatan puncak untuk setidaknya tiga siklus refleksi atau $6L/c$ (L adalah panjang tiang dan c adalah kecepatan gelombang material tiang pancang). Bagilah hasil dari jumlah siklus dan dua kali panjang total tiang pancang dengan total waktu ini untuk menentukan kecepatan gelombang. Kecepatan gelombang pancang baja struktural dapat diasumsikan sebagai 5.123 m/detik. Diasumsikan nilai kecepatan gelombang, yang ditentukan selama kondisi regangan rendah, harus diperiksa secara langsung atau tidak langsung jika memungkinkan. Kecepatan gelombang keseluruhan diamati selama kondisi regangan tinggi seperti dijelaskan di atas mungkin berbeda (umumnya lebih lambat) dari kecepatan gelombang lokal yang digunakan untuk menghitung impedansi karena variabilitas sifat tiang, degradasi bahan tiang selama pukulan palu penumbuk berulang, atau cacat di sepanjang tiang.

6.3 Penentuan Densitas Massa Fondasi Dalam – Densitas setiap tiang kayu harus ditentukan dari berat total tiang, atau contoh uji dari tiang, volume yang sesuai, dan konstanta gravitasi. Densitas beton atau *grouting* dapat diukur dengan cara yang sama. Alternatifnya, densitas tiang beton sering diasumsikan 2.450 kg/m^3 dan densitas *grouting* yang digunakan untuk tiang *auger-cast* atau tiang sejenis sering diasumsikan 2.150 kg/m^3. Densitas tiang baja struktural dapat diasumsikan sebagai 7.850 kg/m^3. Densitas fondasi dalam komposit, seperti beton diisi pipa baja, dapat dihitung dari rata-rata berat penampang di setiap penampang yang berbeda. Nilai massa jenis yang diasumsikan dan dihitung harus diverifikasi langsung jika memungkinkan, atau secara tidak langsung melalui efeknya pada impedansi dan proporsionalitas (butir 6.9).

6.4 Penentuan Modulus Elastisitas Dinamik Fondasi Dalam – Modulus elastisitas dinamik (E) untuk beton, kayu, baja, atau tiang komposit dapat dihitung sebagai hasil dari kuadrat dari kecepatan gelombang (seperti ditunjukkan pada butir 6.2) dikalikan dengan densitas ($E = \rho c^2$). Modulus elastisitas dinamik dapat diasumsikan sebagai 207 x 10^6 kPa untuk baja

struktural. Nilai modulus elastisitas dinamik yang diasumsikan dan dihitung harus diverifikasi langsung jika memungkinkan, atau secara tidak langsung melalui efeknya pada impedansi dan proporsionalitas (butir 6.9).

CATATAN 5 – Alternatifnya, modulus elastisitas statik untuk tiang pancang beton dan tiang kayu dapat ditentukan dari pengukuran yang dilakukan selama tes tekan dilakukan sesuai dengan Metode Uji ASTM C469 atau D198. *Engineer* harus memperkirakan modulus dinamik (umumnya diasumsikan 10% lebih besar) dari pengukuran ini.

6.5 Persiapan – Berikan tanda pada tiang pancang dengan jelas pada interval unit yang sesuai untuk mempersiapkan perekaman jumlah pukulan. Pasang transduser seperti yang dijelaskan dalam butir 5. Tentukan kecepatan gelombang pancang (butir 6.2) dan densitas (butir 6.3). Untuk tiang pancang beton atau pipa yang diisi beton, tempatkan bantalan pancang yang terbuat dari multipleks atau bahan lain dengan kekakuan yang sama di atas tiang. Untuk tiang pipa yang diisi beton, beton harus benar-benar mengisi bagian atas pancang sehingga penumbukan ditransfer melalui bantalan pancang ke beton. Posisikan perangkat penumbukan pada kepala tiang untuk menerapkan gaya penumbukan secara konsentris dengan sumbu panjang tiang. Siapkan peralatan untuk perekaman, pengolahan, dan tampilan data untuk menerima pengukuran dinamik dan menyeimbangkan regangan (atau gaya) dan sinyal percepatan untuk tingkat referensi masing-masing (misalnya, nol).

6.6 Informasi Rekaman Palu Penumbuk – Rekam massa ram palu penumbuk atau beban jatuh bebas. Untuk *drop hammer* dan palu diesel *single acting* dan palu hidrolik tenaga udara/uap, rekam ketinggian jatuh dari ram. Untuk palu diesel *double acting* tenaga udara/uap, ukur tekanan uap atau udara di garis tekanan untuk palu. Untuk palu hidrolik atau salah satu jenis palu yang sebelumnya telah didaftarkan, rekam energi kinetik dari pembacaan palu bila tersedia. Catat jumlah pukulan penumbukan per menit yang disampaikan dari palu.

6.7 Pengukuran – Ambil, rekam, dan tampilkan ukuran gaya dan kecepatan untuk setiap penumbukan. Bandingkan gaya dan hasil dari kecepatan dan impedansi pada saat penumbukan (butir 6.9). Perpindahan permanen bersih per penumbukan didapatkan dari rekaman perhitungan pukulan tiang, atau dari tanda yang ditempatkan pada tiang sebelum dan sesudah tes menggunakan referensi yang sama, langsung dari transduser perpindahan (jika digunakan), atau dengan integrasi kecepatan dibandingkan catatan waktu (umumnya kurang dapat diandalkan). Energi maksimum yang ditransfer ke lokasi transduser didapatkan dari integral waktu ke waktu gaya dikalikan dengan kecepatan.

6.8 Waktu Pengujian – Pengujian dinamik yang dilakukan selama instalasi awal dari tiang umumnya memantau kinerja perangkat penumbukan, tegangan pemancangan tiang pancang, integritas tiang, dan perubahan relatif dalam kapasitas. Jika hasil tes digunakan untuk perhitungan kapasitas statik, pengukuran dinamik harus (juga) dilakukan selama *restrike*-nya dari fondasi dalam, setelah menunggu beberapa waktu setelah instalasi awal yang cukup untuk memungkinkan tekanan air pori dan kekuatan perubahan tanah terjadi (Catatan 1).

6.9 Pemeriksaan Kualitas Data – Konfirmasi akurasi pengukuran dinamik yang diperoleh dekat kepala tiang dengan memeriksa secara berkala bahwa rata-rata sinyal gaya yang diukur dan hasil dari impedansi dan rata-rata sinyal kecepatan yang diukur mengalami proporsionalitas pada saat penumbukan. Jangan mengharapkan proporsionalitas ketika refleksi terjadi dari perubahan impedansi pancang di dekat dan di bawah transduser atau dari resistensi tanah, seperti untuk transduser dekat bagian bawah pancang atau, tergantung pada waktu naik ke puncak kekuatan awal, transduser terletak antara kepala tiang dan bawah. Data yang tidak proporsional harus ditolak. Umumnya dua sinyal kecepatan harus sama di lokasi pengukuran tertentu, meskipun dua sinyal gaya mungkin menunjukkan lentur

yang signifikan. Dua pengukuran regangan tertanam yang dibuat di dekat sumbu tiang di lokasi yang sama, atau di lokasi yang berdekatan pada sumbu tiang, dapat memberikan cek konsistensi satu sama lain. Untuk tiang dengan persentase yang tinggi terhadap tahanan ujung tiang, analisis pengukuran yang dilakukan di dekat kepala tiang dapat memberikan konfirmasi pengukuran di dekat bagian bawah tiang. Untuk perangkat penumbukan yang memberikan penumbukan yang relatif sama, gaya dan kecepatan terhadap waktu selama rangkaian penumbukan berturut-turut harus relatif konsisten. Sinyal yang konsisten dan proporsional dari gaya (rata-rata) versus kecepatan (rata-rata) dikali impedansi tiang merupakan hasil dari sistem transduser yang bekerja dengan benar serta peralatan (untuk merekam, memproses, dan menampilkan data) yang dikalibrasi dengan benar. Jika sinyal tidak konsisten, atau tidak dalam proporsionalitas yang disetujui, selidiki penyebabnya dan perbaiki jika diperlukan. Jika penyebabnya adalah instrumentasi longgar atau tidak sejajar, perbaiki masalah sebelum melanjutkan pengujian. Jika penyebabnya adalah kerusakan transduser, transduser harus diperbaiki atau dikalibrasi ulang, atau keduanya, sebelum lanjut dipergunakan. Jika penyebabnya tidak dapat ditentukan dan diperbaiki, pengujian harus dibatalkan. Lakukan pemeriksaan kalibrasi mandiri pada peralatan yang digunakan untuk rekaman, proses, dan menampilkan data secara periodik selama pengujian seperti yang direkomendasikan oleh produsen, dan kalibrasi ulang sebelum penggunaan lebih lanjut jika ditemukan keluar dari toleransi pabrik.

CATATAN 6 – Umumnya direkomendasikan bahwa semua komponen dari peralatan untuk memperoleh pengukuran dinamik dan peralatan untuk perekaman, pengolahan dan tampilan data dikalibrasi setidaknya sekali setiap satu tahun.

6.10 *Followers* dan *Mandrels* – Jika *follower* digunakan untuk instalasi dan pengujian fondasi dalam beton cor-di-tempat, *follower* ini harus memiliki impedansi antara 80% dan 150% dari fondasi dalam. Namun, peringatan tambahan dan analisis mungkin diperlukan jika impedansi tidak memenuhi 10% dari dari fondasi dalam. Untuk tiang *mandrel*, *mandrel* dapat diinstrumentasi dengan cara yang mirip dengan tiang pancang asalkan *mandrel* dibuat dari elemen tunggal tanpa sambungan.

6.11 Pengujian Fondasi Dalam Cor-di-Tempat – Untuk pengujian tiang cor-di-tempat seringkali menguntungkan untuk membuat sambungan di kepala tiang untuk melindungi tulangan penyaluran, diperkuat terhadap tumbukan dengan tambahan pipa baja, atau untuk mengurangi penggalian berlebihan (sensor harus dipasang setidaknya 1,5 diameter di bawah lokasi penumbukan). Bagian atas tiang harus rata dan persegi untuk sumbu tiang arah longitudinal, dan harus dilindungi dengan bantalan multipleks, atau bahan bantalan lain dari ketebalan yang seragam. Sebuah pelat baja tebal juga dapat ditempatkan di atas multipleks untuk mendistribusikan penumbukan. Sebaiknya lakukan serangkaian pukulan penumbukan tunggal dengan menggunakan *drop hammer* yang memiliki berat minimal 1% sampai 2% dari kapasitas akhir yang diinginkan, dimulai dengan ketinggian jatuh rendah untuk memeriksa fungsi transduser dan tegangan pada tiang dan kemudian dilanjutkan ke ketinggian yang lebih besar untuk memobilisasi tumbukan kapasitas tiang. Untuk transduser yang terpasang secara eksternal, hati-hati dalam memilih lokasi transduser pada beton yang keropos, tergerus atau berisi pasir, gerinda untuk mendapatkan permukaan yang halus, datar dan bersih untuk memasang transduser sejajar dengan sumbu tiang. Karena tiang cor-di-tempat mungkin memiliki sifat material yang tidak seragam serta penampang yang tidak tentu, ketika menggunakan transduser yang dipasang eksternal dipertimbangkan untuk menempatkan empat transduser regangan dengan jarak yang sama pada keliling tiang seperti yang dijelaskan dalam butir 5.2.7. Gaya rata-rata ditentukan dari setiap pasangan transduser secara diametris berhadapan kemudian dapat dibandingkan bersama-sama, dan dengan kecepatan rata-rata seperti yang dijelaskan dalam butir 6.9 untuk melihat kualitas data semua pengukuran gaya.

CATATAN 7 – Kekuatan dan modulus elastisitas dinamik untuk fondasi dalam cor-di-tempat tergantung pada kualitas dan usia beton, yang dapat bervariasi terhadap luas penampang dan sepanjang kedalaman tiang. Modulus elastisitas dinamik yang dihitung dari kecepatan gelombang (butir 3.2) akan menjadi nilai rata-rata yang mungkin berbeda dari modulus di lokasi transduser. Jika fondasi dalam cor-di-tempat terbungkus di selongsong baja, gunakan massa jenis komposit dan modulus elastisitas dinamik komposit.

7 Pelaporan

7.1 Laporan dari uji beban harus memuat informasi yang dibutuhkan oleh *engineer* ditambah informasi lain yang sesuai dan dibutuhkan.

7.2 Umum:

7.2.1 Identifikasi proyek dan lokasi, dan

7.2.2 Hasil dari uji tanah tipikal atau yang terdekat.

7.3 Peralatan Instalasi Fondasi Dalam:

7.3.1 Untuk tiang pancang: uraian metode pemancangan dan instalasi peralatan yang digunakan untuk pemancangan tiang, pengujian tiang, atau keduanya yang sesuai, misalnya pabrik, model, dan jenis palu penumbuk, ukuran (berat ram dan tinggi jatuh), energi transfer pabrikan, kemampuan, tingkat kinerja operasi atau tekanan, pengaturan bahan bakar, deskripsi bantalan palu penumbuk dan bantalan tiang dengan detail penggantian bantalan, dan deskripsi dari jenis pengarah dan peralatan instalasi khusus seperti *follower*, *mandrel*, pemukul, prabor atau jet.

7.3.2 Untuk tiang beton cor-di-tempat: deskripsi metode konstruksi, pengeboran atau peralatan *auger*, dan cara pengecoran atau *grouting*, sebagai contoh: jenis *rigbor*, jenis dan dimensi alat bor, *auger*, dan alat pembersih lubang, *tremie*, pompa beton atau *grouting*, dan pipa lindung (*casing*).

7.4 Tiang Uji:

7.4.1 Identifikasi (nama dan deskripsi) tiang uji,

7.4.2 Kapasitas aksial tekan statik ultimit yang dibutuhkan,

7.4.3 Jenis dan dimensi fondasi dalam termasuk penampang desain atau aktual, atau keduanya, panjang, ketebalan dinding tiang atau *casing*, dan diameter (sebagai fungsi panjang untuk peruncingan atau fondasi dalam komposit).

7.4.4 Untuk tiang pancang dan beton cor-di-tempat: tanggal tiang uji dibuat atau dicetak, kuat tekan silinder beton desain dan terukur beserta tanggal tes, densitas, tegangan prategang, dan deskripsi dari tulangan internal dan eksternal (jenis, mutu, ukuran, panjang, jumlah dan susunan kawat prategang, tulangan longitudinal, hubungan lateral, dan spiral pengaku; panjang dan dimensi *casing* atau selongsong),

7.4.5 Untuk tiang baja: identitas baja, mutu, kuat leleh minimum, dan jenis tiang (misalnya, tanpa sambungan atau pipa las spiral, profil H),

7.4.6 Untuk tiang kayu: panjang, kelurusan, perlakuan pengawetan, dimensi atas dan bawah (dan luasan sebagai fungsi panjang), dan densitas terukur untuk setiap tiang,

7.4.7 Deskripsi dan lokasi sambungan, tiang dengan perlindungan khusus pada ujung tiang, dan setiap pelapisan khusus yang diterapkan jika dilaksanakan,

7.4.8 Sudut inklinasi terhadap vertikal, desain dan aktual, dan,

7.4.9 Pengamatan fondasi dalam termasuk daerah yang mengalami kerusakan, retak, dan kondisi permukaan kepala tiang fondasi dalam.

7.5 Instalasi Fondasi Dalam:

7.5.1 Untuk tiang cor-di-tempat, termasuk volume beton atau *grouting* yang ditempatkan di fondasi dalam (volume terhadap kedalaman, jika tersedia), dan deskripsi prosedur instalasi yang digunakan, seperti instalasi atau ekstraksi *casing*,

7.5.2 Untuk tiang yang dipancang, termasuk tanggal instalasi, catatan pemancangan dengan jumlah pukulan, dan tinggi jatuh palu atau tingkat pengoperasian saat penetrasi akhir,

7.5.3 Elevasi dari kepala tiang, ujung bawah tiang, dan permukaan tanah direferensikan ke datum, dan

7.5.4 Penyebab dan durasi gangguan instalasi dan catatan dari setiap kejadian yang tidak biasa.

7.6 Pengujian Dinamik:

7.6.1 Deskripsi peralatan uji dinamik, termasuk pabrik, model, alat integrasi kecepatan analog atau digital, *sampling rate*, transduser, lokasi pengukuran, dll.,

7.6.2 Tanggal uji, urutan pengujian (misalnya, "akhir pemancangan" atau "awal pemancangan ulang"), dan waktu berlalu sejak akhir pemancangan hingga pemancangan ulangnya,

7.6.3 Densitas, kecepatan gelombang, dan modulus elastisitas dinamik dari tiang uji,

7.6.4 Resistensi penetrasi (pukulan per unit penetrasi, atau set per *blow*) dan kedalaman yang tertanam,

7.6.5 Tampilan grafis dari pengukuran gaya dan kecepatan terhadap waktu untuk pukulan yang mewakili,

7.6.6 Metode analisis yang digunakan untuk menginterpretasi atau mengevaluasi pengukuran pengujian,

7.6.7 Interpretasi dari pengukuran pengujian, termasuk pengukuran ke bawah tiang jika memungkinkan, untuk memperkirakan secara tepat besarnya keseluruhan kapasitas tekan aksial dinamik dan statik yang dimobilisasi pada saat pengujian, distribusi kapasitas tekan dinamik dan statik aksial sepanjang tiang, dan sifat teknis tiang dan tanah atau batuan yang berinteraksi dengan tiang seperti yang digunakan dalam interpretasi,

7.6.8 Ulasan tentang kinerja perangkat pemancangan sesuai yang terukur oleh energi yang ditransfer ke dalam fondasi dalam dengan perbandingan terhadap energi dari pabrikan

atau terhadap berat palu dan tinggi jatuhnya,

7.6.9 Ulasan tentang tegangan pemancangan yang terjadi pada fondasi dalam, dan apakah diukur atau diperkirakan melalui analisis,

7.6.10 Ulasan tentang integritas fondasi dalam, dan,

7.6.11 Ringkasan numerik pengukuran dan hasil interpretasi, dengan analisis statistik yang sesuai.

8 Presisi dan bias

8.1 Presisi – Presisi data tidak disajikan karena sifat dari metode uji ini. Hal ini baik tidak layak maupun terlalu mahal saat ini memiliki sepuluh atau lebih lembaga berpartisipasi dalam pengujian lapangan. Variabilitas yang melekat pada tanah, atau batuan, atau keduanya di sekitar tiang, peralatan tiang pancang, dan tiang itu sendiri berpengaruh buruk pada penentuan presisi.

8.2 Bias – Tidak ada nilai referensi yang diterima untuk metode pengujian ini sehingga bias tidak dapat ditentukan.

9 Kata kunci

9.1 Tiang auger; fondasi dalam; tiang bor; tiang pancang; tegangan pemancangan; pengujian dinamik; daya dukung tiang; daya dukung ujung; kinerja palu penumbuk; integritas tiang

Lampiran A
(normatif)
Formulir kosong pengujian HSDP

Data Uji HSDP

Kode Proyek : Pemberi Kerja :
Proyek :

Tanggal				
Nama Tiang				
Tipe Palu Penumbuk				
Berat Palu Penumbuk (ton)				
Tinggi Jatuh (m)				
Jenis Tiang				
Luas Penampang (cm^2)				
Modulus Elastisitas (ton/cm^2)				
Mutu Beton				
Densitas (ton/m^3)				
Panjang Total Tiang (m)				
Panjang Tertanam (m)				
Panjang Penetrasi (m)				
Sambungan				
Kapasitas Desain (ton)				
Kapasitas Ultimit (ton)				
Data Tanah				
Piling Record				
RMX (ton)				
DFN/DMX (mm)				
BTA (%)				
ID/Kalibrasi Sensor				
Tranduser				
F1				
F2				
F3				
F4				
Akselerometer				
A1				
A2				
A3				
A4				

Keterangan: Data di atas merupakan hasil pengujian lapangan, data yang dipakai adalah data yang telah dianalisis dengan *software*.

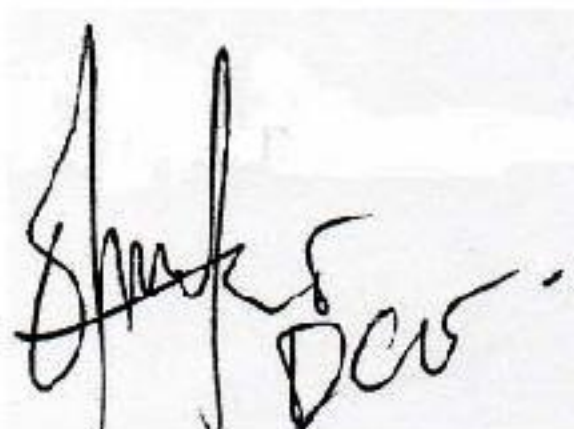
Dikerjakan oleh, Diperiksa oleh,

(*Testing Engineer*) (Pemberi Kerja) (MK) (*Owner*)

Lampiran B
(informatif)
Contoh isian formulir pengujian HSDP

Data Uji HSDP

Kode Proyek :

Proyek : Tol Cijago Paket 2A

Pemberi Kerja : Berdikasi Pondasia

Tanggal				
Nama Tiang	P. 103			
Tipe Palu Penumbuk	*Drop hammer*			
Berat Palu Penumbuk (ton)	6			
Tinggi Jatuh (m)	2			
Jenis Tiang	*Bored pile*			
Luas Penampang (cm^2)	5026,55			
Modulus Elastisitas (ton/cm^2)	354			
Mutu Beton	K-350			
Densitas (ton/m^3)	2,4			
Panjang Total Tiang (m)	15,56			
Panjang Tertanam (m)	13,76			
Panjang Penetrasi (m)	13,56			
Sambungan	-			
Kapasitas Desain (ton)	170			
Kapasitas Ultimit (ton)	510			
Data Tanah	√			
Piling Record	√			
RMX (ton)	263			
DFN/DMX (mm)	13,85 / 2,37			
BTA (%)				
ID/Kalibrasi Sensor				
Tranduser				
F1	G 879			
F2	I 766			
F3	J 533			
F4	I 789			
Akselerometer				
A1	41014			
A2	41013			
A3	K 2894			
A4	K 2130			

Keterangan: Data di atas merupakan hasil pengujian lapangan, data yang dipakai adalah data yang telah dianalisis dengan *software*.

Dikerjakan oleh, Diperiksa oleh,

(*Testing Engineer*) (Pemberi Kerja) (MK) (*Owner*

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komtek/SubKomtek perumus SNI

Sub Komite Teknis 91-01-S2, *Subkomite Teknis Rekayasa Jalan dan Jembatan*

[2] Susunan keanggotaan Komtek perumus SNI

No	Nama	Instansi	Kedudukan	Wakil dari
1	Dr. Deded Permadi Sjamsudin, M.Eng.Sc	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan	Ketua	Pemerintah
2	Prof. Dr.Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc	Universitas Tama Jagakarsa	Wakil Ketua	Pakar
3	Prof. Dr. Ir. H. Raden Anwar Yamin, MT, M.E	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan	Sekretaris	Pemerintah
4	Dr. Ir. Siegfried, M.Sc	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan	Anggota	Pemerintah
5	Dr. Ir. Dwi Prasetyanto, MT	Institut Teknologi Nasional (ITENAS)	Anggota	Pakar
6	Dr.Ir. Samun Haris, MT	Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI)	Anggota	Konsumen
7	Dr. Ir. Imam Aschuri, MT	Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI)	Anggota	Konsumen
8	Ir. GJW Fernandez	PT. Belaputra Intinad	Anggota	Produsen
9	Dr. Ir. Hindra Mulya, MM	PT. MBT	Anggota	Produsen

CATATAN:

Susunan keanggotaan Sub Komtek 91-01-S2 diatas adalah pada saat Standar ini ditetapkan. Anggota Komtek yang juga turut menyusun sebelum perubahan keanggotaan, adalah:

1. Dr. Ir. Herry Vaza, M.Eng.Sc.
2. Dr. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
3. Ir. Abinhot Sihotang, M.T.
4. Ir. Gompul Dairi, BRE, M.Sc.
5. Aksan Kawanda, S.T., M.T.

[3] Konseptor rancangan SNI

Nama	Lembaga
Suantoro Wicaksono, S.T., M.Eng.	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

[4] Sekretariat pengelola Komtek perumus SNI

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.